

نقش احتمال خرابی گره ها در بهینه سازی سازه های قابی صفحه ای و فضایی براساس نظریه قابلیت اعتماد

دکتر محمد رضا قاسمی

استادیار دانشکده مهندسی ، دانشگاه سیستان و بلوچستان ، زاهدان

دکتر منصور قلعه نوی

استادیار دانشکده مهندسی ، دانشگاه سیستان و بلوچستان ، زاهدان

مهدی یوسفی

دانشجوی کارشناسی ارشد سازه ، دانشگاه سیستان و بلوچستان ، زاهدان

تلفن ۰۵۴۱-۲۴۱۰۹۹۶ ، نمابر : ۰۵۴۱-۲۴۴۷۰۹۲ ، پست الکترونیکی :

mrghasemi40@hamoon.usb.ac.ir

تلفن ۰۹۱۵۱۴۱۱۵۰۲ ، پست الکترونیکی : ghalehnovi@yahoo.com

تلفن 09151432155 ، پست الکترونیکی : mf_goldarzahi@yahoo.com

چکیده :

در تحقیقات پیشین سازه های قاب خمشی اعم از صفحه ای یا فضایی با استفاده از قید احتمال خرابی اعضا یا سیستم و با حاشیه ایمنی مقاومت منهای بار مورد بررسی قرار گرفته اند ، اما در عمل بسیاری از سازه ها ممکن است مقاومت لازم را داشته باشند ولی جابجایی بیش از حد مجاز وسط دهانه تیرها ، گره ها و یا جابجایی جانبی کل سازه قابلیت بهره برداری سازه را از بین ببرد. از طرفی سازه هایی نیز وجود دارند که علی رغم جابجاییهای ناچیز مقاومت لازم را در مقاطع بحرانی ندارند و این مسأله لزوم تامین ایمنی سازه را با در نظر گرفتن هر دو معیار مقاومت و سختی سازه در استفاده از نظریه قابلیت اعتماد ایجاب می کند.

در تحقیق حاضر برنامه کامپیوتری تهیه گردیده که معیار سختی سازه را در کنار معیار مقاومت با دو قید احتمال خرابی گره ها و احتمال خرابی اعضا یا سیستم قرار داده و تأثیر توأم آنها را در بهینه یابی وزن سازه مورد بررسی قرار میدهد. در این پژوهش منظور از احتمال خرابی گره این است که تغییر مکان گره در یک راستا از تغییر مکان مجاز گره در همان راستا تجاوز نماید و احتمال خرابی اعضا یا سیستم بدین معنی است که نیروها یا لنگرهای داخلی یک عضو یا کل سیستم از مقاومت محوری ، برشی ، خمشی و پیچشی یک عضو یا کل سیستم تجاوز نماید.

در فرآیند بهینه یابی بارهای خارجی وارده به سازه و تنش تسلیم اعضا متغیرهای تصادفی در نظر گرفته شده اند و فرض شده است که متغیرهای تصادفی مستقل از یکدیگر و دارای تابع توزیع نرمال باشند. پس از آنکه قیود مسأله با استفاده از نظریه قابلیت اعتماد تعیین گردید با در نظر گرفتن کمینه نمودن وزن سازه به عنوان تابع هدف به کمک الگوریتم وراثتی به بهینه یابی سازه می پردازیم. این تحقیق نشان میدهد که با اعمال توأم قیود احتمال خرابی گره ها و اعضا یا سیستم وزن بهینه سازه افزایش یافته ولی ایمنی سازه و قابلیت بهره برداری آن نیز افزایش می یابد.

واژه های کلیدی: بهینه سازی ، احتمال خرابی گره ، احتمال خرابی اعضا ، احتمال خرابی سیستم ، معیار

سختی ، معیار مقاومت ، الگوریتم وراثتی



نقش احتمال خرابی گره ها در بهینه سازی سازه های قابی براساس نظریه قابلیت اعتماد

دکتر محمدرضا قاسمی^۱، دکتر منصور قلعه نوی^۲، مهدی یوسفی^۳

۱- دکتر محمدرضا قاسمی، پست الکترونیکی: ghasemi40@yahoo.co.uk

۲- دکتر منصور قلعه نوی، پست الکترونیکی: ghalehnovi@yahoo.com

۳- مهدی یوسفی، پست الکترونیکی: mf_goldarzahi@yahoo.com

Ghasemi40@yahoo.co.uk

خلاصه

این تحقیق روشی نوین در بهینه سازی سازه های قابی تحت قیود مبتنی بر نظریه قابلیت اعتماد را ارائه می دهد. برای این منظور یک برنامه کامپیوتری تهیه گردید که علاوه بر لحاظ نمودن احتمال خرابی اعضا و یا سیستم، قادر به لحاظ نمودن نقش احتمال خرابی گره ها در فرآیند بهینه سازی نیز میباشد. با اعمال کمینه نمودن وزن سازه بعنوان تابع هدف در الگوریتم وراثتی، اثر توأم قیود احتمال خرابی گره ها و اعضا یا سیستم بر روی وزن بهینه سازه، ایمنی و قابلیت بهره برداری آن مورد ارزیابی قرار می گیرد. در این پژوهش منظور از احتمال خرابی گره، احتمال تغییر مکان گره بیش از حد مجاز و احتمال خرابی اعضا یا سیستم به معنی احتمال تجاوز نیروها یا لنگرهای داخلی یک عضو یا کل سیستم از مقاومت مجاز آن عضو یا کل سیستم میباشد.

کلمات کلیدی: نظریه قابلیت اعتماد، احتمال خرابی گره، احتمال خرابی عضو، احتمال خرابی سیستم

مقدمه

در تحقیقات پیشین سازه های قاب خمشی اعم از صفحه ای یا فضایی با استفاده از نظریه قابلیت اعتماد و قید احتمال خرابی اعضا و یا سیستم و با حاشیه ایمنی مقاومت منهای بار مورد بررسی قرار گرفته اند [۷]، اما در عمل بسیاری از سازه ها ممکن است مقاومت لازم را داشته باشند ولی جابجایی بیش از حد مجاز گره ها قابلیت بهره برداری سازه را از بین ببرد. از طرفی سازه هایی نیز وجود دارند که علی رغم جابجاییهای ناچیز مقاومت لازم را در مقاطع بحرانی ندارند و این مسأله لزوم تامین ایمنی سازه را با در نظر گرفتن هر دو معیار مقاومت و سختی سازه در استفاده از نظریه قابلیت اعتماد ایجاب می کند.

در تحقیق حاضر یک برنامه کامپیوتری تهیه گردید که معیار سختی سازه را در کنار معیار مقاومت با دو قید احتمال خرابی گره ها و احتمال خرابی اعضا و یا سیستم قرار داده و تأثیر توأم آنها را در بهینه یابی وزن سازه مورد بررسی قرار میدهد. در این پژوهش منظور از احتمال خرابی گره این است که تغییر مکان گره در یک راستا از تغییر مکان مجاز گره در همان راستا تجاوز نماید و احتمال خرابی اعضا و یا سیستم بدین معنی است که نیروها یا لنگرهای داخلی یک عضو یا کل سیستم از مقاومت محوری، برشی، خمشی و پیچشی یک عضو یا کل سیستم تجاوز نماید. در فرآیند بهینه یابی، تنش تسلیم اعضا و بارهای خارجی وارده به سازه متغیرهای تصادفی در نظر گرفته شده اند و فرض شده است که متغیرهای تصادفی مستقل از یکدیگر و دارای تابع توزیع نرمال باشند. پس از آنکه قیود مسأله با استفاده از نظریه قابلیت اعتماد تعیین گردید با در نظر گرفتن کمینه نمودن وزن سازه به عنوان تابع هدف به کمک الگوریتم وراثتی به بهینه یابی سازه می پردازیم.

محاسبه احتمال خرابی اعضا، سیستم و گره ها

^۱ استادیار دانشکده مهندسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان

^۲ استادیار دانشکده مهندسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان

^۳ دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان



نظریه قابلیت اعتماد که براساس متغیرهای تصادفی استوار می‌باشد دارای روشهای مختلفی است. اما روشی که می‌تواند در تحلیل، طراحی و بهینه سازی سازه ها بسیار مفید واقع شود روش احتمال خرابی است که در این تحقیق با دو ضابطه خرابی متفاوت به شرح ذیل به بررسی ایمنی و قابلیت بهره برداری سازه های قابی خمشی اعم از دوبعدی و سه بعدی پرداخته شده است:

الف- ضابطه خرابی تجاوز نیروها یا لنگرهای داخلی عضو یا سیستم از مقاومت داخلی اعضا یا سیستم که با حاشیه ایمنی زیر تعریف شده است:
بار - مقاومت = حاشیه ایمنی

ب- ضابطه خرابی تجاوز جابجایی گره ها بیش از جابجایی مجاز که با حاشیه ایمنی زیر تعریف شده است:

جابجایی موجود - جابجایی مجاز = حاشیه ایمنی

پس از محاسبه حاشیه ایمنی سازه به هر دو روش فوق، احتمال خرابی اعضا و یا سیستم و احتمال خرابی گره ها را مانند آنچه در ذیل آمده است، به دست می آوریم.

۱- محاسبه احتمال خرابی عضو و سیستم در سازه های قابی دو بعدی و سه بعدی

با توجه به تعریف ارائه شده برای حاشیه ایمنی ابتدا مقاومت خمشی، برشی و پیچشی و نیروها و لنگرهای موجود در هر عضو را بدست آورده و پس از آنکه میانگین حاشیه ایمنی ($E[Z]$) را بدست آوریم حال باید شاخص قابلیت اعتماد (reliability index) یا شاخص ایمنی (safety index) محاسبه گردد. از آنجا که در تحقیق حاضر روشی از قابلیت اعتماد مدنظر می‌باشد که در آن از دو پارامتر میانگین و انحراف معیار استفاده میشود، جهت محاسبه شاخص قابلیت اعتماد، میانگین حاشیه ایمنی $E[Z]$ را بر انحراف معیار آن $\sigma[Z]$ تقسیم می نماییم و بنابراین چنانچه شاخص قابلیت اعتماد با حرف لاتین β نشان داده شود، داریم:

$$\beta = E[Z] / \sigma[Z] \quad (1)$$

این تعریف از شاخص قابلیت اعتماد در سال ۱۹۶۹ میلادی توسط شخصی بنام کرنل (cornell) ارائه گردید [۶].

حال با محاسبه میانگین حاشیه ایمنی هر عضو، احتمال خرابی آن را در دو انتهای چپ و راست از رابطه زیر بدست می آوریم:

$$P_{f_i} = \phi(-\beta_i) \quad \Rightarrow \quad P_{f_i} = \phi(-E[Z_i] / \sigma_{Z_i}) \quad (2)$$

در روابط فوق تابع ϕ ، تابع توزیع احتمال نرمال استاندارد می‌باشد. همچنین $E[Z_i]$ و σ_{Z_i} بترتیب میانگین و انحراف معیار (جذر واریانس) حاشیه ایمنی عضو i ام می باشند که تحت اثر نیروی محوری، نیروهای برشی حول دو محور افقی و قائم، لنگرهای خمشی حول دو محور افقی و قائم برای عضو i ام در محدوده غیر ارتجاعی مطابق مرجع ۷ محاسبه میگردند.
پس از محاسبه احتمال خرابی اعضا، احتمال خرابی سیستم را از مجموع احتمال خرابی اعضا که یک روش تقریبی بوده و در سازه های قابی بزرگ جوابهای معقولی را به کاربر می دهد، بدست می آوریم.

$$P_f = \sum_{i=1}^{n_e} P_{f_i} \quad (3)$$

در رابطه فوق n_e تعداد اعضای تشکیل دهنده سازه قابی می‌باشند.

۲- احتمال خرابی گره

فرمول بندی دیگری که در ادامه ارائه می گردد، حاشیه ایمنی تغییر مکان گره ها است.

در یک سازه قابی متشکل از n عضو که l بار بر آن اثر کرده باشد، اگر a_k تغییر مکان مجاز گره k ام در راستای مورد نظر باشد، حاشیه ایمنی گره k ام، یعنی Z_k با استفاده از روشهای ماتریسی به صورت زیر بیان می گردد:

$$Z_k = a_k - \sum_{j=1}^l d_{kj} L_j \quad (4)$$

که در آن d_{kj} ضریب تغییر مکان گره k ام تحت اثر بار واحد j ام، l تعداد کل بارهای وارده و L_j بار خارجی j ام وارده بر سازه است. در اینجا وضعیتی بررسی می شود که در آن تنش تسلیم اعضا (C_{yj}) و بارهای وارده (L_j) متغیرهای احتمال اندیشانه باشند. به این ترتیب حاشیه ایمنی نیز متغیر احتمال اندیشانه و شاخص قابلیت اعتماد گره k ام مطابق زیر بدست می آید:

$$\beta_k = E[Z_k] / \sigma[Z_k] \quad (5)$$

حال احتمال خرابی گره k ام را از رابطه زیر بدست می آوریم:



$$P_{f_k} = \phi(-\beta_k) \quad \Rightarrow \quad P_{f_k} = \phi(-E[Z_k]/\sigma_{z_k}) \quad (6)$$

در رابطه فوق تابع ϕ ، تابع توزیع احتمال نرمال استاندارد می باشد. همچنین $E[Z_k]$ و σ_{z_k} به ترتیب میانگین و انحراف معیار (جذر واریانس) حاشیه ایمنی گره k ام می باشند که به صورت زیر محاسبه می گردند:

$$E[Z_k] = a_k - \sum_{j=1}^l d_{kj} \bar{L}_j \quad (7)$$

$$\sigma_{z_k}^2 = \sum_{j=1}^l d_{kj}^2 \sigma_{l_j}^2 = \sum_{j=1}^l \{d_{kj} \bar{L}_j CV_{L_j}\}^2 \quad (8)$$

که در روابط فوق \bar{L}_j ، $\sigma_{l_j}^2$ و CV_{L_j} به ترتیب میانگین، واریانس و ضریب پراکندگی متغیر احتمال اندیشانه بارگذاری می باشند.

الگوریتم وراثتی در بهینه سازی براساس نظریه قابلیت اعتماد

پس از آنکه احتمال خرابی را در اعضا و کل سازه بدست آوردیم حال با تعریف محدودیت ها و تابع هدف به بهینه سازی سیستم می پردازیم. الگوریتم وراثتی روشی برگرفته از طبیعت میباشد که جایگزین روابط ریاضی برای بهینه یابی گردیده و از مزایای آن عدم همگرایی موضعی میباشد که از متوقف شدن عملیات قبل از رسیدن به جواب بهینه جلوگیری می نماید. برای بهینه یابی با استفاده از الگوریتم وراثتی میتوان احتمال خرابی را محدودیت قرار داده و کمینه نمودن وزن را تابع هدف در نظر گرفت و یا برعکس وزن محدودیت و احتمال خرابی بعنوان تابع هدف در نظر گرفته شوند. در تحقیق حاضر احتمال خرابی محدودیت و کمینه نمودن وزن، تابع هدف میباشد.

۱- تابع هدف

در این تحقیق کمینه نمودن وزن سازه (W) به عنوان تابع هدف در نظر گرفته شده است و با توجه به اینکه در مشخصات پروفیل های موجود در فایل ورودی داده ها وزن واحد طول داده شده است، بصورت زیر تعریف میگردد:

$$W = \sum_{i=1}^{ne} w_i \times l_i \quad (9)$$

در رابطه فوق w_i وزن واحد طول، l_i طول عضو i ام و n_e تعداد کل اعضا می باشند.

۲- متغیرهای اصلی

در تحقیق حاضر جهت بهینه یابی قابها به روش الگوریتم ژنتیک از متغیرهای گسسته استفاده شده است و تعدادی پروفیل با مقطع I شکل با کلیه مشخصات آنها از قبیل سطح مقطع، ممان اینرسی و غیره در فایل ورودی داده ها وارد شده است. الگوریتم وراثتی از میان آنها مناسب ترین پروفیل را که وزن سازه را به حداقل ممکن میرساند انتخاب خواهد نمود. تعداد متغیرهای مسئله برابر تعداد اعضای مستقل سازه میباشد و در صورت گروه بندی اعضا، هر گروه به عنوان یک متغیر طراحی در نظر گرفته میشود.

طول زیر رشته مربوط به مقطع عرضی اعضا، وابسته به تعداد متغیرهای انتخاب شده است، به طوری که اگر بتوان مقطع عرضی عضو i ام را از بین N section پروفیل انتخاب نمود آنگاه طول زیر رشته (ژن) مربوط به سطح مقطع عضو i ام که در اینجا با L_i نشان داده شده است، از رابطه (۱۰) محاسبه می گردد و سپس زیررشته های مربوط به مقطع عرضی عضو i ام، به کمک رابطه (۱۱) به عددی در مبنای ده و بدون علامت I section رمزگشایی می گردد:

$$2^{L_i} \geq N_{section} \quad (10)$$

$$I_{section} = \sum_{j=1}^{L_i} C(j) \cdot 2^{(L_i-j)} + 1 \quad (11)$$

که در روابط فوق $C(j)$ مقدار عددی بیت j ام است که مقدار آن صفر یا یک می باشد. پس از رمزگشایی با ایجاد تناظر یک به یک از I section به مجموعه پروفیل های استاندارد، مشخصات مقطع عرضی هر عضو تعیین می گردد. در مورد متغیرهای تصادفی پیوسته نیز، تنها تعداد تقسیمات در بازه مورد نظر برابر با N section متغیر در نظر گرفته میشود [۳].

۳- قیود مسئله

در این تحقیق، قیود مسئله مطابق روابط (۱۲)، (۱۳) و (۱۴) به شکل زیر می باشند که با توجه به شرایط سازه به آن اعمال می گردند:



$$P_{f_i} \leq P_{fa_i} \quad (i = 1, 2, \dots, n_e) \quad (12)$$

$$P_f \leq P_{fa} \quad (13)$$

$$P_{f_k} \leq P_{fa_k} \quad (k = 1, 2, \dots, n_n) \quad (14)$$

در روابط فوق ، n_e و n_n بترتیب تعداد اعضای سازه و تعداد گره ها ، P_{fa_i} ، P_{fa} و P_{fa_k} به ترتیب مقادیر احتمال خرابی مجاز عضو i ام و احتمال خرابی مجاز کل سازه و احتمال خرابی مجاز گره ها می باشند.
از طرفی برای کنترل لاغری ستونها قید زیر نیز لحاظ گردیده است:

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_{\max_i} < 200 \quad ; \quad i = 1, 2, \dots, n_e \quad (15)$$

در این رابطه $\left(\frac{KL}{r}\right)_{\max_i}$ ضریب لاغری ماکزیمم عضو i ام میباشد.

با توجه به اینکه الگوریتم وراثتی برای بهینه سازی مسائل نامقید کاربرد دارد ، لذا برای تبدیل تابع مقید به نامقید ، از روش تابع جریمه خارجی استفاده گردیده و تابع هدف اصلاح میشود.

با توجه به مفصل بودن بحث الگوریتم وراثتی در خصوص چگونگی محاسبه تابع هدف اصلاح شده ، تابع برازندگی و اعمال شرطهای همگرایی و عملگرهای الگوریتم وراثتی (انتخاب ، جفت گیری ، پیوند ، جهش و انتخاب نخیه‌گرا) به مراجع ۳ و ۷ رجوع گردد.

حال صحت و سقم نتایج بدست آمده از اثر توأم قیود احتمال خرابی اعضا و گره ها در قابها و کاربرد عملی برنامه کامپیوتری تهیه شده به کمک دو مثال ذیل مورد بررسی قرار میگردد.

حل دو مثال عملی با استفاده از برنامه کامپیوتری :

در این بخش قصد داریم تا با استفاده از مطالب بیان شده به بهینه سازی چند مثال ذیل بپردازیم.

۱- قاب دو بعدی چهار دهانه چهار طبقه

۲- قاب سه بعدی ۶ طبقه با اتصالات صلب

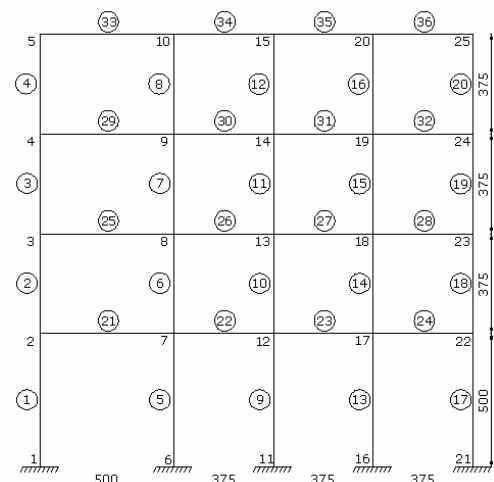
۱- قاب دو بعدی چهار دهانه چهار طبقه

در این مثال اقدام به بهینه یابی قاب شکل ۱ با اثر توأم قیود احتمال خرابی مجاز گره ها و احتمال خرابی مجاز اعضا یا سیستم گردید. ابتدا با فرض اینکه جایابی مجاز گره ها یک عدد ثابت باشد اثر تغییرات احتمال خرابی مجاز اعضا بر روی وزن بهینه سازه مورد ارزیابی قرار گرفته و سپس با در نظر گرفتن ضریب واریانس بار 0.1 ، ضریب واریانس تنش تسلیم اعضا 0.05 و با توجه به مأخذ مندرج در مرجع ۶ ، احتمال خرابی مجاز اعضا 10^{-4} ، احتمال خرابی مجاز گره ها 10^{-2} مفروض و دو حالت زیر جهت مقایسه جوابهای بهینه مورد بررسی قرار گرفت :

الف- قید احتمال خرابی اعضا ب- قید احتمال خرابی سیستم ب- اثر توأم قیود احتمال خرابی اعضا و گره ها

جدول ۱- تیپ بندی اعضا

شماره تیپ	۱	۲	۳	۴	۵
شماره اعضا	۱۷، ۱	۱۳، ۵	۹	۱۸، ۲	۱۴، ۶
شماره تیپ	۶	۷	۸	۹	۱۰
شماره اعضا	۱۰	۱۹، ۳	۱۵، ۷	۱۱	۲۰، ۴
شماره تیپ	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
شماره اعضا	۱۶، ۸	۱۲	۲۴، ۲۱	۲۳، ۲۲	۲۸، ۲۵
شماره تیپ	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰
شماره اعضا	۲۷، ۲۶	۳۲، ۲۹	۳۱، ۳۰	۳۶، ۳۳	۳۵، ۳۴



شکل ۱- قاب دو بعدی چهار دهانه چهار طبقه

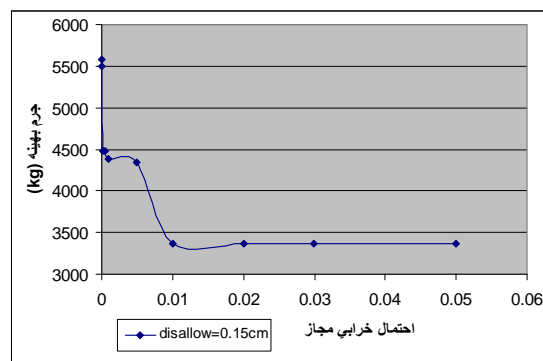


شماره گره ها ، المانها و ابعاد قاب در شکل ۱ مشخص شده است. مدول الاستیسیته $E = 21e6 (N/cm^2)$ و چگالی فولاد برابر $0.0785 (kN/cm^3)$ در نظر گرفته شده است. این قاب شامل ۳۶ المان است که به ۲۰ گروه متغیرهای طراحی تقسیم شده اند. بار گسترده یکنواخت وارده طبقات (N/cm) ۱۵۱.۱۴ در جهت منفی Y و برای بام برابر (N/cm) ۱۵۴.۲۲ در جهت منفی Y میباشد. همچنین بارهای متمرکز $907N$ ، $2721N$ ، $1360N$ و $1814N$ به ترتیب در گره های ۲ ، ۳ ، ۴ و ۵ و در جهت مثبت محور X ها به قاب وارد می شوند. پارامترهای کنترلی الگوریتم وراثتی شامل احتمال جهش 0.004 ، احتمال پیوند 1 و تعداد جمعیت برابر 30 میباشد. گروه بندی اعضای سازه در جدول ۱ بیان شده است.

جدول ۲ - تغییرات وزن بهینه با کاهش احتمال خرابی مجاز به شرط جابجایی مجاز ثابت

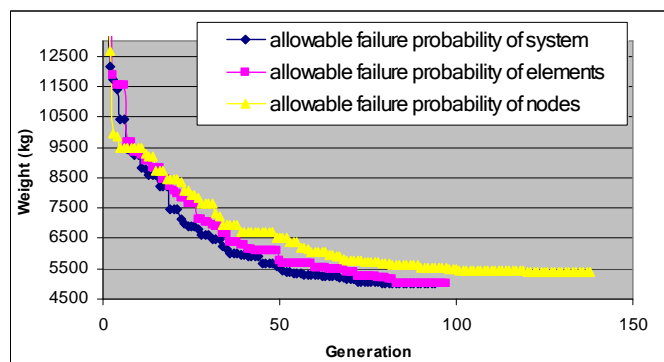
Pf allow	Mass(kg)	Disallow(cm)	Dis(cm)
0.05	3.37E+03	1.5	1.49E-01
0.03	3.37E+03	1.5	1.49E-01
0.02	3.37E+03	1.5	1.49E-01
0.01	3.37E+03	1.5	1.49E-01
0.005	4.35E+03	1.5	1.49E-01
0.001	4.39E+03	1.5	1.49E-01
0.0005	4.48E+03	1.5	1.28E-01
0.0001	4.48E+03	1.5	1.28E-01
0.00001	5.49E+03	1.5	1.09E-01
0.000001	5.58E+03	1.5	1.00E-01

Disallow = 0.15cm



شکل ۲- نمودار تغییرات وزن بهینه سازه در برابر احتمال خرابی مجاز اعضا با شرط جابجایی مجاز ثابت

جدول ۲ و نمودار شکل ۲ نشان می دهند که اگر احتمال خرابی مجاز اعضا و جابجایی مجاز بعنوان قیود تعریف شوند و قید احتمال خرابی مجاز گره ها ثابت بوده و احتمال خرابی مجاز اعضا را تغییر دهیم در صورت بالا بودن احتمال خرابی اعضا ، قید احتمال خرابی گره ها تعیین کننده خواهد بود و وزن بهینه را در محدوده مشخصی ثابت نگه میدارد ، اما با کاهش یافتن احتمال خرابی مجاز اعضا ، قید احتمال خرابی مجاز گره ها و احتمال خرابی اعضا در کنار هم تعیین کننده بوده و در حالتی که احتمال خرابی مجاز اعضا بسیار کم شود دیگر جابجایی تأثیری در محاسبه وزن بهینه نخواهد داشت و وزن سازه نیز با شیب تندتری افزایش می یابد. قرار گرفتن این دو قید در کنار هم کمک می کنند تا احتمال خرابی مجاز مناسب و منطقی برای بهینه سازی وزن سازه در نظر گرفته شود.



شکل ۳- مقایسه وزن بهینه سازه قاب دو بعدی مثال ۱ با سه روش مبتنی بر قیود احتمال خرابی سیستم ، اعضا و گره ها

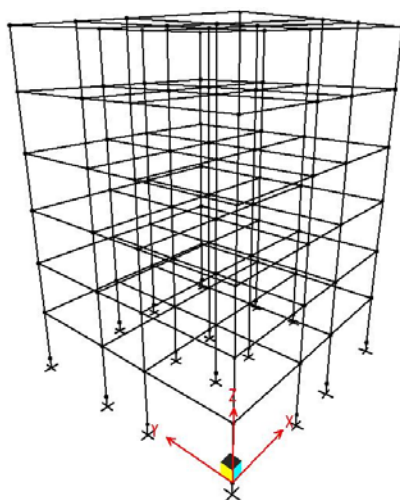
جدول ۳- تأثیر قید احتمال خرابی گره ها در کنار قید احتمال خرابی اعضا و یا سیستم بر قابلیت بهره برداری سازه

روش احتمال خرابی اعضا		روش احتمال خرابی سیستم		روش احتمال خرابی گره ها	
وزن بهینه (kg)	ماکزیمم جابجایی موجود گره ها (cm)	وزن بهینه (kg)	ماکزیمم جابجایی موجود گره ها (cm)	وزن بهینه (kg)	ماکزیمم جابجایی موجود گره ها (cm)
۵۰۳۳	۳/۰۱	۵۰۰۷	۳/۵۲	۵۳۸۸	۱/۸۳

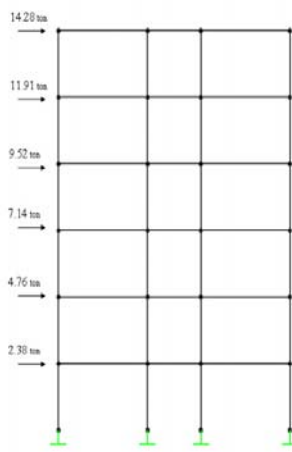
جدول ۳ و نمودار شکل ۳ وزن بهینه سازه را به سه روش احتمال خرابی سیستم، اعضا و اثر توأم احتمال خرابی اعضا و گره ها مورد مقایسه قرار داده و تاثیر فوق العاده روش دوم در ایمن نمودن سازه در مقابل جابجایی های بیش از حد مجاز در گره ها را نشان میدهد. در روشهای احتمال خرابی اعضا و سیستم وزن بهینه سازه بترتیب ۵۰۳۳ کیلوگرم و ۵۰۰۷ کیلوگرم بوده که حدود ۷٪ تا ۷/۶٪ از وزن بهینه سازه به روش اعمال اثر احتمال خرابی گره ها یعنی ۵۳۸۸ کیلوگرم کمتر بوده ولی ماکزیمم جابجایی گره ها کاهش و قابلیت بهره برداری سازه افزایش یافته است.

مثال ۲- قاب سه بعدی شش طبقه با اتصالات صلب

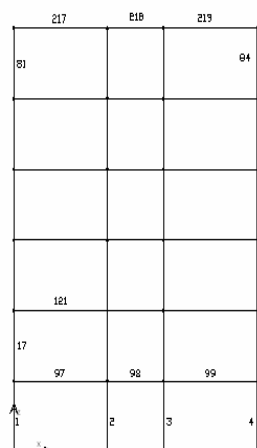
قاب سه بعدی ۶ طبقه و سه دهنه در جهت X, Y با اتصالات صلب تیر به ستون در شکلهای ۴، ۵، ۶ نشان داده شده است. بارگذاری مشخص شده در شکل ۷ در جهت X, Y بصورت مشابه و بار گسترده (مرده + زنده) وارد بر تیرها برابر $200 (N/cm)$ مورد بررسی قرار گرفت. در اینجا فرض گردیده که ضریب واریانس بار 0.1، ضریب واریانس تنش تسلیم اعضا 0.05، احتمال خرابی مجاز اعضا 1.67×10^{-4} ، احتمال خرابی سیستم 10^{-3} ، مدول الاستیسیته $E = 21e6 (N/cm^2)$ و چگالی فولاد برابر $0.0785 (kN/cm^3)$ باشند. پارامترهای کنترلی الگوریتم وراثتی شامل احتمال جهش 0.004، احتمال پیوند 1 و تعداد جمعیت برابر 50 در نظر میگیریم.



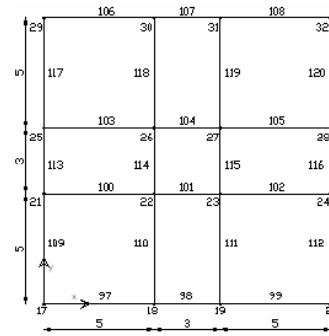
شکل ۴- نمای سه بعدی سازه



شکل ۷- بار جانبی وارد به سازه

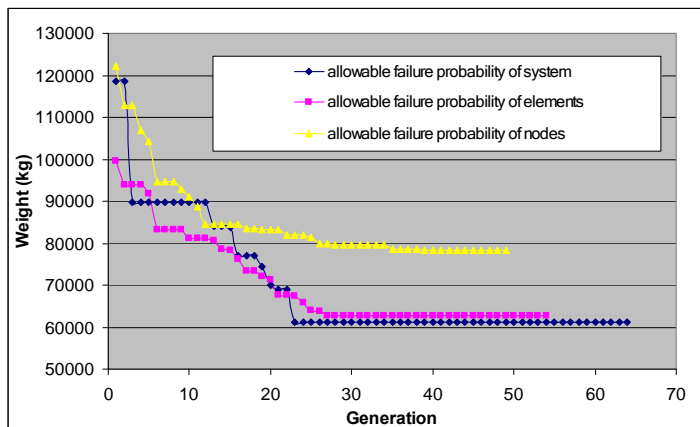


شکل ۶- شماره اعضاء و ابعاد سازه



شکل ۵- شماره اعضاء و ابعاد سازه

جدول ۴ و نمودار شکل ۸ نشان می دهند که اگرچه وزن بهینه سازه با روش احتمال خرابی اعضا و سیستم بترتیب ۶۲۶۶۰ کیلوگرم و ۶۱۰۸۰ کیلوگرم و حدود ۲۵٪ تا ۲۸٪ از وزن بهینه سازه با روش احتمال خرابی گره ها یعنی ۷۸۳۹۰ کیلوگرم کمتر بدست آمده است ولی جابجایی بیش از حد مجاز گره ها در دو روش اول قابلیت بهره برداری سازه را کاهش داده است.



شکل ۸- مقایسه وزن بهینه سازه قاب سه بعدی مثال ۲ با سه روش مبتنی بر قیود احتمال خرابی سیستم، اعضا و گره ها

جدول ۴- تاثیر قید احتمال خرابی گره ها در کنار قید احتمال خرابی اعضا و یا سیستم بر قابلیت بهره برداری سازه

روش احتمال خرابی اعضا		روش احتمال خرابی سیستم		روش احتمال خرابی گره ها	
وزن بهینه (kg)	ماکزیمم جابجایی موجود گره ها (cm)	وزن بهینه (kg)	ماکزیمم جابجایی موجود (cm)	وزن بهینه (kg)	ماکزیمم جابجایی موجود (cm)
۶۲۶۶۰	۱۵	۶۱۰۸۰	۱۸	۷۸۳۹۰	۱/۲۸

نتیجه گیری :

- در پژوهش حاضر برنامه ای به زبان فرترن تهیه گردیده که با دو مثال کاربردی مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج ذیل بدست آمده است :
- در یک جابجایی مجاز ثابت و نسبتا کم برای گره ها اگر احتمال خرابی مجاز اعضا عدد بزرگی باشد، قید احتمال خرابی مجاز گره ها تعیین کننده بوده ولی با کاهش تدریجی احتمال خرابی مجاز اعضا از اثر قید احتمال خرابی گره ها کاسته شده و در نهایت در یک احتمال خرابی مجاز ۸ برای اعضا دیگر قید احتمال خرابی گره ها هیچ تاثیری بر وزن بهینه سازه نخواهد داشت. عکس این قضیه نیز میتواند صادق باشد یعنی با یک احتمال خرابی مجاز ثابت برای اعضا، اثر تغییرات قید احتمال خرابی گره ها نیز به همین شکل خواهد بود. با بررسی اثر توأم این دو قید میتوان به یک احتمال خرابی مجاز مناسب و منطقی جهت بهینه سازی سازه ها دست یافت.
 - با افزودن قید احتمال خرابی گره ها به قیود مسأله، اگرچه وزن بهینه سازه افزایش می یابد ولی جابجایی مجاز گره ها نیز تحت کنترل خواهد بود و قابلیت بهره برداری سازه افزایش می یابد.
 - استفاده از روشهای طراحی و بهینه سازی احتمال اندیشانه جایگزین مناسبی برای ضرایب اطمینان بوده و میتوان براحتی ایمنی سازه را متناسب با اهمیت آن افزایش داد.
 - با توجه به اینکه الگوریتم وراثتی، برخلاف روشهای کلاسیک بهینه سازی، نیاز به بیان یک رابطه دقیق بین تابع هدف و متغیرهای مسأله و محاسبه مشتقات تابع هدف ندارد، این الگوریتم، بهینه سازی انواع سازه های قابی را با در نظر گرفتن متغیر نوع پروفیل، که شامل مشخصاتی از قبیل سطح مقطع و ممان اینرسی خمشی و پیچشی آنها میباشد، فراهم ساخته است که چنانچه به بررسی نتایج عددی در این تحقیق بپردازیم نقش الگوریتم وراثتی به عنوان یک روش بهینه سازی هوشمند کاملا آشکار می گردد.
 - مثالهای فوق نشان می دهند که نرم افزار تهیه شده قادر به طراحی و بهینه سازی سازه های قابی دوبعدی و سه بعدی در اندازه های مختلف بوده و چنانچه با آئین نامه ها تطابق بیشتری داده شود بصورت یک نرم افزار کاربردی میتواند مورد استفاده قرار گیرد.

مراجع

- Nowak, A.S., Collins, K.R., 2000, Reliability of Structures, McGRAW-HILL International Edition, University of Michigan
- O. Ditlevsen, H.O. Madsen, 2003, Structural Reliability Methods, Department of Mechanical Engineering Techniquial, University of Denmark



3. Rajeev, S. and Krishnamoorthy, C.S., "Discrete Optimization of Structures Using Genetic Algorithms", J. Struct. Engng ASCE, Vol. 118(5), 1233-1250, 1992
4. Chen, C.J., "Improvements of Simple Genetic Algorithm in Structure design", Inter. J. Number. Meth. Engng., Vol. 40, No.40, pp.1323-1334, 1997
5. NAKIB, R. and D. M. FRANGOPOL, "RBSA and RBSA-OPT Two Computer Programs for Structural System Reliability Analysis and Optimization", Comput. Struct., Vol. 36, No. 1, pp. 13-27, (1990).
۶. کاوه، ع. و کلات جاری، و.ر.، نظریه قابلیت اعتماد و کاربرد آن در مهندسی سازه، ۱۳۷۳، دانشگاه علم و صنعت ایران
۷. یوسفی، مهدی، بهینه سازی سازه های قابی بر اساس نظریه قابلیت اعتماد به کمک الگوریتم وراثتی اصلاح شده، ۱۳۸۶، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران گرایش سازه، دانشگاه سیستان و بلوچستان.